

## SINTEF Community - Berglaboratoriene

### Din partner ved gjennomføring av utbyggingsprosjekter



Tilstrekkelig kunnskap om de geologiske forholdene er viktig for en suksessfull planlegging, gjennomføring, evaluering og oppfølging av store utbyggingsprosjekter. Dette inkluderer bestemmelse av bergmasse- og bergartenes egenskaper. Bestemmelse av styrke, borbarhet, bestandighet og sprengbarhet er eksempler på egenskaper som i høy grad vil kunne påvirke tids- og kostnadsaspektene til et hvert utbyggingsprosjekt. Det omfatter også laboratorieanalyser for å vurdere bruks- og miljøegenskaper til de massene som tas ut, inklusive deres potensial for anvendelse og spesielt som kortreiste overskuddsmasser. SINTEF kan bistå med en lang rekke laboratorie- og felttjenester ved alle typer utbyggingsprosjekter der bergmasser er involvert.

De følgende tabellene viser en oversikt over de aktuelle testene og undersøkelsene som vi utfører samt beskrivelse av formålet og de spesifikke egenskapene som bestemmes.

Tabellene er ment for å gi en innledende oversikt over de standardiserte testene og undersøkelsene vi kan utføre, samt våre muligheter til å bruke Berglaboratoriet til utviklingsprøving og dokumentasjon. Ethvert anleggsprosjekt er unikt, og behovet for undersøkelser vil variere, vi bidrar gjerne med råd for å sette sammen et dedikert og hensiktsmessig testprogram for det aktuelle prosjektet i de ulike utbyggingsfasene. Vi koordinerer også i forhold til aktuelle laboratorietjenester som tilbys ved andre laboratorier i SINTEF, for eksempel rettet mot betong/sprøytebetong, gjenbruksbetong, kjemiske- og miljørettede analyser for å nevne noen.

Kontaktperson



**Lisbeth-Ingrid Alnæs**  
Forskningsleder

📞 [930 58 535](tel:93058535)  
✉ [lisbeth.alnas@sintef.no](mailto:lisbeth.alnas@sintef.no)

Kontaktperson



**Joakim Eggen**  
Laboratorieleder

📞 [976 05 573](tel:97605573)  
✉ [joakim.eggen@sintef.no](mailto:joakim.eggen@sintef.no)

## Laborrietester og beregnede indekser for bestemmelse av borbarhetsegenskaper

| Testmetode  | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap  |
|---|--|
| Sprøhetstall ( $S_{20}$ )/Brittleness Value (NTNU/SINTEF)   | Sprøhetstallet ( $S_{20}$ ) er et mål for bergartens evne til å motstå nedknusing ved gjentatt slagpåkjenning. Et lavt sprøhetstall indikerer en bergart med stor motstandsdyktighet mot nedknusing, og omvendt indikerer et høyt sprøhetstall en bergart med lav motstandsdyktighet mot nedknusing.   |
| Sievers' J-verdi (SJ) (NTNU/SINTEF)                         | Sievers' J-verdien (SJ) er en minityrbortest som gir et mål for bergartens overflatehardhet eller motstandsdyktighet mot inntrengning. En lav Sievers' J-verdi indikerer at bergarten har høy overflatehardhet og stor motstandsdyktighet mot inntrengning, og omvendt indikerer en høy Sievers' J-verdi at bergarten har lav overflatehardhet og liten motstandsdyktighet mot inntrengning.   |
| Slitasjeverdi hardmetall (AV) (NTNU/SINTEF)                 | Slitasjeverdien for hardmetall (AV) er et mål for bergartens abrasjon eller evne til å påføre hardmetall slitasje. En høy slitasjeverdi for AV indikerer en slitende bergart, og omvendt indikerer en lav slitasjeverdi at bergarten er lite slitende.   |
| Slitasjeverdi kuterringstål (AVS) (NTNU/SINTEF)             | Slitasjeverdien for kuterringstål (AVS) er et mål for bergartens abrasjon eller evne til å påføre kuterringstål slitasje. En høy slitasjeverdi for AVS indikerer en slitende bergart, og omvendt indikerer en lav slitasjeverdi at bergarten er lite slitende.   |
| Cerchar Abrasivity Index (CAI) (ISRM)                       | Testen er ment som en indekstest for klassifisering av slitasjeevne til bergarter. Testen er en repetest hvor CAI beregnes ut ifra den slitasjen som oppstår på spissen av en stålpinne etter at den har blitt repet over bruddflaten på bergartsprøven.   |
| LCPC Abrasivity Coefficient (LAC) (French Standard P18-579) | Testen beskriver bergartsprøvens slitasjeevne (impact abrasion) ved at en preparert prøve bestående av knust og siktet prøvemateriale plasseres i en beholder med en stålplate som roterer i høy hastighet. LAC baserer seg på av vektapet til stålplaten etter endt testing.  |
| Soil Abrasion Test (SAT™) (RETC Proceedings 2007)           | Testen er ment å være en indikasjon på løsmassers (grus, sand, silt leire) slitasjeevne i forbindelse med tunneldriving med TBM  |
| Borsynkindeks (DRI™) (NTNU/SINTEF)                          | Borsynkindeksen (DRI™) beregnes på basis av bergartens sprøhetstall ( $S_{20}$ ) og Sievers' J-verdi (SJ) og er en indirekte indeks for forventet borsynk. DRI™ kan beskrives som bergartens sprøhetstall korrigert for overflatehardhet.  |
| Borslitasjeindeks BWI™ (NTNU/SINTEF)                        | Borslitasjeindeksen (BWI™) beregnes på basis av bergartens borsynkindeks (DRI™) og slitasjeverdi hardmetall (AV) og er en indirekte indeks for forventet borslitasje. BWI™ benyttes til å estimere levetid for borkroner, borruller, etc.  |
| Kuterringlevetidsindeks (CLI™) (NTNU/SINTEF)                | Kuterringlevetidsindeksen (CLI™) beregnes på basis av bergartens Sievers' J-verdi (SJ) og abrasjonsverdi kuterringstål (AVS) og uttrykker estimert levetid for TBM kuterringstål.  |
| Sievers' J Interception Point (SJIP) (NTNU/SINTEF)          | Sievers' J Interception Point (SJIP) beregnes på basis av den gjennomsnittlige inntrengningskurven for SJ miniatyrborforsøket. SJIP angis i tid (sekund) og defineres som skjæringspunktet mellom tangentlinjene til inntrengningskurven for det som kan betegnes som den delen som viser "effektiv boring" (høyest inntrengningshastighet) den og den delen som viser "ineffektiv boring" (mellom 40 - 60 sekunder). I motsetning til SJ-verdien som kun representer bergartens overflatehardhet eller motstandsdyktighet mot inntrengning kan den beregnede SJIP-verdien gi en indikasjon for forventet levetid for boreverktøy. |

## Laborrietester for bestemmelse av svelleegenskaper

| Testmetode       | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap   |
|------------------|---|
| Fri svelling     | Analysen gir en indikasjon på prøvens svellepotensial ved at det preparerte prøvematerialet får svulle fritt og at det volum materialet inntar er et uttrykk for svelling uttrykt i prosent av det opprinnelige volumet.                              |
| Svelletrykk      | Analysen utføres som et ødometerforsøk og målsetter svelletrykket (MPa) som det preparerte prøvematerialet klarer å generere ved et konstant volum.   |
| 3D Fri svelling  | Analysen er en fri svulle test som utføres på upåvirkede bergartsprøver. Testen måler utvidelse av en preparert kube 3 retninger over tid, etter at den har blitt senket ned i vann.  |
| XRD              | Røntgendiffraksjon (XRD) er en analysemetode som benyttes for å påvise smektitt i prøvematerialet.  |
| Slake Durability | Analysen gir en mindre eller større grad av akselerert forvitring/desintegrering av prøvematerialet ved gjentatte sykluser med henholdsvis fukting og tørking. Dette kan igjen gi indikasjoner på tilstedeværelse av svellende mineraler i bergarten. |

## Laborrietester for bestemmelse av styrkeegenskaper

| Testmetode  | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap   |
|---|---|
| Los Angeles<br>(NS-EN 1097-2)                                     | Testen er ment å simulere den påkjenning et tilslag utsettes for i en veg. Metoden tallfester et tilslags motstandsevne mot nedknusing ved at det tromles tørt med stålkuler. Mengde nedknust materiale gir et uttrykk for bestandigheten. (R210 laboratorieundersøkelser, SVV)   |
| Micro Deval<br>(NS-EN 1097-2)                                     | Testen er ment å simulere den slitasje et grovt tilslag utsettes for i et mekanisk stabilisert bære- og forsterkningslag. Metoden tallfester et tilslags motstandsevne mot abrasiv slitasje ved at det tromles fuktig med stålkuler (R210 laboratorieundersøkelser, SVV).   |
| Enaksiel trykkfasthet/<br>Uniaxial Compressive Strength<br>(ISRM) | Testen beskriver en bergartsprøves styrke som den maksimale aksiale trykkspenning en preparert sylindrisk testkjerne (borkjerne) kan tåle før den svikter.  |
| Punktlaststyrke/<br>Point Load Strength (ISRM)                    | Testen er ment å være en indeks for bergartsprøvens styrke angitt som den maksimale konsentrerte spenning et prøvestykke kan påføres før brudd oppstår ved å benytte koniske lasthoder. Punktlasttesten kan i motsetning til enaksiell trykkfasthet også utføres på uregelmessige prøvestykker som ikke er forhåndspreparert. Resultatene kan også benyttes til å estimere bergartens enaksiale trykkfasthet. |
| Brazilianer test/<br>Brazilian Tensile Strength (ISRM)            | Testen beskriver bergartsprøvens indirekte strekkfasthet som den maksimale spenning et preparert sylindrisk prøvestykke (skive) kan påføres før brudd oppstår, ved å benytte lasthoder som har en radius som er 1,5 x prøvestykkets.  |
| Fallprøve/sprøhet og flisighet<br>(SVV, håndbok 014)              | Testen benyttes til å bestemme steinklasse basert på bergartsprøvens motstandsdyktighet mot nedknusing ved gjentatt slagpåkjenning ved at en preparert prøve bestående av knust og siktet materiale plasseres i en morter med lokk og påføres slag av et fallende lodd (derav ofte betegnet som fallprøven)   |
| LCPC Breakability Coefficient (LBC)<br>(French Standard P18-579)  | Testen beskriver bergartsprøvens sprøhet eller motstand mot nedknusing ved at en preparert prøve bestående av knust og siktet prøvemateriale plasseres i en beholder med en stålplate som roterer i høy hastighet.  |
| Slake Durability Index<br>(ISRM)                                  | Testen er en metode for å bestemme forvittringsmotstanden til svakere bergartsprøver som skifere, siltstein og andre leirebærende bergarter. Ved å gjennomføre to sykluser med henholdsvis fuktig og tørking oppnås en akselerert forvittringsprosess som resulterer i en større eller mindre grad av oppløsning av prøvematerialet.  |

## Laborrietester for bestemmelse av mineralogi og petrografi

| Testmetode           | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap  |
|----------------------|--|
| Petrografisk analyse | Analysen utføres både makroskopisk (stoffprøve) og mikroskopisk (tynnslip/polert tynnslipanalyse) og gir i tillegg til et petrografisk bergartsnavn også beskrivelser av tekstur, kornstørrelse, kornbindinger oppsprekking/riss og omdanning /forvittringsgrad. |
| DTA                  | Differensialtermisk analyse (DTA) er en testmetode som benyttes for å bestemme kvarts og kisinhold i geologiske materialer og den er spesielt godt egnet og dermed ofte benyttet for å bestemme kistype i tilslagsmaterialer for betong.                         |
| XRD                  | Røntgendiffraksjon (XRD) er en analysemetode som benyttes for å bestemme mineralinnholdet i prøvematerialet. Den kan også benyttes for å påvise smekitt (svellende leirmineral) i sleppematerialer.  |
| Visuell evaluering   | Analysen gir en bestemmelse av bergartstype basert på en visuell evaluering samt den mineralogiske sammensetningen bestemt ved XRD.  |

**Laborrietester for bestemmelse av egenskaper og bestandighet til naturstein**

| Testmetode  | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap  |
|---|--|
| Enaksial trykkfasthet/<br>Uniaxial Compressive Strength<br>(NS EN)              | Testen beskriver en bergartsprøves styrke som den høyeste trykkbelastning per areal enhet en preparert testkubee kan tåle uten brudd, uttrykt i MPa.   |
| Bøystrekkfasthet/Flexural<br>Strength<br>(NS EN)                                | Testmetoden benyttes til å bestemme høyeste linjelast et prøvestykke kan utsettes for ved bøyning over tverrsnittet uten brudd, uttrykt i MPa.   |
| Brutto Densitet og open<br>porøsitet/ Bulk Density and<br>Open Porosity (NS EN) | Brutto densitet angir bergartens vekt per volumenhet med porer, uttrykt i kg/m <sup>3</sup> . Åpen porøsitet uttrykker forholdet mellom volum av åpne porer og prøvevolum, uttrykt i %   |
| Vannabsorpsjonsevne /Water<br>Absorption (NS EN)                                | Vannabsorpsjon angir den mengden vann bergarten kan absorbere inn i åpne porer ved atmosfærisk trykk og vannlagring til konstant vekt, uttrykt i vektprosent.  |
| Styrken ved<br>forankringspunkter (NS EN)                                       | Styrke ved forankringspunkter (dybelhull) er av betydning for naturstein til bruk i fasadekledning. Bruddlasten karakteriserer den lasten som skal til for å gi brudd ved forankringspunktet, og egenskapen uttrykkes i N.   |
| Slitasjemotstand/Abrasion<br>Resistance<br>(NS EN)                              | Slitasjemotstand er av betydning for naturstein som skal brukes til gulv, trapper eller utendørs belegg. Slitasjemotstand uttrykkes i mm, der høy verdi representerer lav slitasjemotstand.  |
| Sklisikkerhet / Slip Resistance<br>(NS EN)                                      | Sklisikkerhet angir produktoverflatens ruhet og angis som USRV (Unpolished Slip Resistance Value) på både tørre og våte overflater, hvor høy verdi indikerer god sklisikkerhet.  |
| Frostmotstandsevne/ Frost<br>Resistance (NS EN)                                 | Frostmotstand er en viktig egenskap ved utendørs bruk der fryse-/tinepåkjenninger er aktive. Standard prøving går ut på at vannmettet steinmateriale gjennomgår gjentatte syklere med frysing i luft og tining i vann og der frostmotstandsevnen uttrykkes i form av styrke før og etter test. |

## Ekspérimentell prøving og dokumentasjon

| Testmetode/Område  | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap  |
|--|--|
| Boltetesting i bolterigg   | <p>Teste styrke- og deformasjonsegenskaper til bolter ved hjelp av fullskala strekk- og skjærforsøk på en måte som representerer situasjonen i gruva/tunnel. Betongblokkene som boltene monteres i støpes derfor som høyfast betong med en enakset trykkfasthet (UCS) på ca 120 MPa. Betongblokkene må herde i minst 28 dager før boltetestingen kan utføres.</p> <p>De to blokkene kan forskyves i forhold til hverandre i to retninger i horisontalplanet. Boltehullene bores med slaghammer eller kjernebor, alt etter ønsket forankringsmetode for boltene. Hulldiameteren kan tilpasses oppdragsgivers spesifikasjon.</p> <p>Bolteriggen instrumenteres slik at man får en komplett lastdeformasjon-karakteristikk. Det betyr at man måler deformasjonen i selve boltene og i underlagsskiven hver for seg samtidig som last påført boltene måles</p> |
| Frostlaboratoriet for testing av varmeutveksling mellom tunnel og bergmasse og oppførsel av vann- og frostsikringssystemer | <p>Frostlaboratoriet har et areal på ca. 20 m<sup>2</sup> som er fullisolert og består av to adskilte rom med en granittvegg med tykkelse 1,5 m mellom seg. På hver side av granittveggen simuleres en situasjon med bergmasse og tunnelrom. Temperaturen i de to rommene kan reguleres mellom +10 og -20°C. Laboratoriet muliggjør mange eksperimentelle oppsett med instrumentering, overvåking og analysing av varmeutvekslingen mellom tunnel og bergmasse, samt testing av tekniske løsninger oppførsel ved pålasting av temperaturendringer.</p>   |

## Laborrietester for bestemmelse av bergmekaniske egenskaper

| Testmetode  | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap  |
|---|--|
| Enaksial trykkfasthet/<br>Uniaxial Compressive Strength (ISRM)      | Testen beskriver en bergartsprøves styrke som den maksimale aksiale trykkspenning en preparert sylindrisk testkjerne (borkjerne) kan tåle før den svikter.   |
| E-modul og Poissons forhold/<br>E-modulus and Poissons ratio (ISRM) | Testmetoden benyttes til å bestemme spenning- og tøyningkurvene til en preparert sylindrisk testkjerne for beregning av bergartens elastitetsmodul og Poissons tall (hvor mye et materiale utvider seg i bredden når det presses sammen i lengderetningen).  |
| Triaksialtesting (ISRM)   | Testen er ment å måle den aksiale trykkstyrken til preparert sylindriske bergprøver som en funksjon av omslutningstrykk.   |
| Punktlaststyrke/<br>Point Load Strength (ISRM)                      | Testen er ment å være en indeks for bergartsprøvens styrke angitt som den maksimale konsentrerte spenning et prøvestykke kan påføres før brudd oppstår ved å benytte koniske lasthoder. Punktlasttesten kan i motsetning til enaksial trykkfasthet også utføres på uregelmessige prøvestykker som ikke er forhåndspreparert. Resultatene kan også benyttes til å estimere bergartens enaksiale trykkfasthet. |
| Brazilianer test/<br>Brazilian Tensile Strength (ISRM)              | Testen beskriver bergartsprøvens indirekte strekkfasthet som den maksimale spenning et preparert sylindrisk prøvestykke (skive) kan påføres før brudd oppstår, ved å benytte lasthoder som har en radius som er 1,5 x prøvestykkets.   |
| Lyd hastighet/Sonic Velocity (ISRM)                                 | Testen utføres ved at ultralydbøger blir sendt gjennom en preparert testkjerne. Gangtiden samt lengden av testkjernen benyttes til å beregne lyd hastighet i m/s. Lyd hastigheten vil være påvirket av egenskaper som tekstur, porøsitet, lagdeling og oppsprekking og kan dermed gi indikasjoner på disse egenskapene i en ikke destruktiv test.  |
| Densitet/ Density ISRM  | Analysen utføres ved å måle testkjernenes volum og vekt og gir dermed egenvekten til bergarten   |

## Bergmekaniske feltundersøkelser

| Testmetode   | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap   |
|--|---|
| Hydraulisk splitting                                 | <p>Ved hydraulisk splitting pumpes vann for å trykksette en avgrenset seksjon av et borhull. Trykket i seksjonen økes inntil hullveggen sprekker og vannet presses inn i bergmassen. For å avgrense en testseksjon benyttes oppblåsbare gummipakninger (packere) som trykksettes. Det vil bli tatt avtrykk av hullveggen for å dokumentere sprekken som initieres ved splittingen med en avtrykkspacker som er dekt med mykere gummi. Avtrykkspakkeren er instrumentert med et orienteringsverktøy. Hydraulisk splitting gjennomføres i borehull med diameter 76 mm. Det er veldig viktig at hullene bores så rette som mulig (lite boreavvik). Utforing/"casing" må ikke innsnevre hulldiametere. Målet med SINTEFs arbeid vil da være å bestemme størrelse og retning av in-situ bergspenninger i bergmassen.</p> <p>Hydraulisk splitting gir oss minste hovedspenning (<math>\sigma_3</math>) som er viktig ved plassering av kraftstasjon og betongpropp ved vannkraftutbygging. Denne kunnskapen er viktig for å kunne bestemme plassering av konus (betongpropp) i tilløpstunnelen, der minste hovedspenning (<math>\sigma_3</math>) i bergmassen må være større enn forventet største vanntrykk multiplisert med en sikkerhetsfaktor</p> |
| 2-dimensjonal bergspenningsmåling, Doorstopper       | <p>En komplett 2D-bergspenningsmåling med overboringsmetoden består av 6 enkeltmålinger med doorstopper for hver enkelt lokalitet. Målingene utføres trinnvis innover/oppover i målehullet noe som vil gi et innspenningsprofil langs det målte hullet. Dette for å gi et statistisk grunnlag for å kunne beregne en representativ middelværdi for spenningsretning og størrelse i planet i bergmassen. Målingene utføres i 76 mm kjerneborhull som bores tilnærmet vertikalt i taket for å finne innspenning i tak eller i horisontalt i pilar for å finne belastningen.</p>   |
| 3-dimensjonal bergspenningsmåling ved overboring, 3D | <p>Resultatene fra 3d målingene er viktige parametere for modellering av større bergrom. En komplett 3D-bergspenningsmåling med overboringsmetoden består av 5-8 enkeltmålinger med tredimensjonal målecelle. Dette for å kunne gjøre en rimelig sikker bestemmelse av størrelse og retning av bergmassens tre hovedspenninger. Målingene utføres i et 76 mm kjerneborhull som bores tilnærmet horisontalt fra 1,5 m over sålen og omlag 10- 18 m ut fra tunnelen. De gjennomføres med 0,5 m intervall i den innerste delen av hullet, og SINTEF borer selv målehullet.</p>   |
| Langtidsdoorstopper, LTMD                            | <p>Langtidsdoorstopperen blir benyttet for å overvåke spenningsendringer i utsatte områder under drift av tunneler og større bergrom. Langtidsdoorstopperen blir limt i bunnen av hullet (<math>\varnothing</math> 76 mm) som på forhånd er utflatet med en spesialborkrone. Under boringen av hullet, inn til ønsket dyp, blir det gjort standard doorstoppermålinger med jevne mellomrom (3-4 stk.) innover i hullet for å finne de initiale bergspenningene, se figur 1. Metoden for enkeltmålingene er beskrevet i vedlegg 2. Den siste standard målingen blir tatt så nær det planlagte hulldyp for langtidsdoorstopperen som mulig (normalt innenfor 10 – 20 cm). Langtidsdoorstopperen blir så installert.</p> <p>Måleprinsippet for streklappmålinger er at streklappene registrerer motstandsendringer som relateres til tøyningendringer. Spenningsendringene kan så beregnes ved å bruke tøyning-differansen fra null-avlesning til avlesningstidspunktet og de elastiske egenskapene til bergarten. Beregnet spenningsendring blir så sammenlignet med spenningsverdiene for de initiale målingene.</p>   |
| Ekstensometer  | <p>Formålet med ekstensometer er å overvåke deformasjoner i bergrom. Rod-type borhullsekstensometer (eller også kalt Multi-anker MPX) A5 har hydrauliske anker som kan installeres i ulike typer borhull. Ekstensometrene som kan bestilles for oppdrag kan ha 4 anker og kan være 40 meter langt. Ekstensometrene vil bli installert i vertikale eller horisontale hull i taket eller vegg med diameter 76 eller 89 mm. Ankrene på ekstensometeret vil være forhåndsdefinert på samtlige ekstensometre på ønsket dybde. Den første 0,5 m av borhullet utvides til 180 mm for å kunne senke/beskytte ekstensometerhodet. Dersom andre installasjonsdybder ønskes, må dette spesifiseres ved bestilling. Hullet til ekstensometeret bores av oppdragsgiver før SINTEFs personale ankommer installasjonsstedet.</p>   |
| Vanninjeksjonrigg                                    | <p>SINTEF har bygget en pålitelig og nøyaktig måleutrustning som kan brukes til beregning av hydraulisk konduktivitet. I praksis betyr dette en rigg lik vanninjeksjonstesting, men med mer presis trykkregulering og en meget nøyaktig væskestrøm, med svært strenge krav til målepresisjon.</p>   |

## Geotekniske feltundersøkelser

| Testmetode                                  | Hensikt/bestemmelse av spesifikk egenskap  |
|---|--|
| Grunnundersøkelser med Geotech 504 borerigg | <p>Boreriggen er utstyrt for ulike bore- og sondermetoder, trykksondering (CPTU), permafrost prøvetaking og konvensjonell prøvetaking med stålsylindere.</p> |